JAXA's

宇宙航空の最新情報マガジン

［ジャクサス］

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構 機関誌

No.067

January 2017

宇宙航空の最新情報マガジン
JAXA's [ジャクサス]
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構 機関誌
No.067
January 2017

CONTENTS

3 新春特別対談
地球規模の課題解決を目指し、JAXAとJICAが手を携える
奥村 直樹 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 理事長
北岡 伸一 独立行政法人 国際協力機構 理事長

8 大西卓哉宇宙飛行士が振り返る
宇宙から地上に帰還するまで
大西 卓哉 有人宇宙技術部門 宇宙飛行士運用技術ユニット 宇宙飛行士

10 **補給能力は世界最大!**
国際宇宙ステーション(ISS)を支える「こうのとり」
—充実したサービスで、ISSに荷物を運びます—

12 地球を見守り、社会に役立つ地球観測衛星たち
第3回:困難を乗り越え、挑み続けたからこそ次が見える
日本の地球観測衛星30年の歩み
山本 静夫 理事

15 **「強化型」でイプシロンロケットをパワーアップ**
井元 隆行 第一宇宙技術部門 イプシロンロケットプロジェクトチーム サブマネージャ

16 ジオスペース探査衛星(ERG)プロジェクト
「宇宙のさえずり」と電子の関係を解き明かす
三好 由純 名古屋大学宇宙地球環境研究所 准教授/
宇宙科学研究所 太陽系科学研究系 客員准教授
宇宙科学研究所 ジオスペース探査衛星プロジェクトチーム
プロジェクトサイエンティスト

18 FaSTAR——世界最速の計算力で航空機開発を先導するソフト
空気の流れを短時間で解析し
航空機のベストな形を見つけ出す
橋本 敦 航空技術部門 数値解析技術研究ユニット(併任)次世代航空イノベーションハブ 主任研究開発員

20 JAXA'S NEW SCOPE
JAXAトピックス

Cover Story

JAXA理事 山本 静夫

2017年は、日本が独自に地球観測衛星を打ち上げてから30年の節目を迎えます。山本は、熱帯降雨観測衛星「TRMM」のプロジェクトマネージャ、地球観測衛星委員会(CEOS)議長を務めるなど、日本を含む世界規模で地球観測衛星の運用に貢献してきました。今号12-14ページで、地球観測衛星の開発・運用において、日本が辿った軌跡と、今後、果たすべき役割を語ります。

What's New

「こうのとり」6号機(HTV6)、打ち上げ成功

2016年12月9日に打ち上げられた宇宙ステーション補給機「こうのとり」6号機は14日、ロボットアームによりISSに無事結合されました。今回も宇宙飛行士の活動を支える日本製バッテリや飲料水、「きぼう」日本実験棟から放出する超小型衛星7機など多くの物資を届けました。

新年おめでとうございます、JAXA's発行責任者の庄司義和です。

今号では年頭恒例の新春対談を企画しました。対談相手としてお招きしたのはJICAの北岡理事長、お題は「地球規模の課題解決を目指したJICAとJAXAの連携」です。

「すべての国で貧困をなくし、豊かさを追求しながら、地球環境も守っていこう」という国連で定めた目標に対して、JICAとJAXAが手を携えることでどういう貢献が可能になるか。是非ご一読ください。

2017年は、JAXA初の地球観測衛星打ち上げから30年目に当たります。長きにわたり地球観測業務に携わってきた山本理事が、これまでのJAXAの歩みを振り返るとともに、将来の抱負を語ります。

このほかにも各分野からさまざまな話題を提供しています。お楽しみください。

JAXAは本年も引き続き宇宙・航空技術分野でさまざまな研究開発、プロジェクトを進めるとともに、その成果を国民生活の質の向上につなげるよう努力してまいります。

2017年もJAXAをよろしくお願い致します。

★発行責任者
JAXA
(国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構)
広報部長 庄司 義和
★JAXA's編集委員会
委員長 庄司 義和
委員 青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー 的川 泰宣
★編集制作
株式会社ファイブ・シーズ
2017年1月1日発行

新春特別対談

地球規模の課題解決を目指し、JAXAとJICAが手を携える

～持続可能な開発目標（SDGs）の達成を目指して～

気候変動や温暖化など地球規模の課題を解決し、持続的な開発を実現する動きが世界的に活発になっています。2015年9月には国連で「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択されました。

日本においても、日本再興戦略、国土強靭化ほかの取り組みにより経済成長や豊かな社会づくりを進めようとしています。「2030アジェンダ」では、日本のような先進国を含むすべての国が、自国での実施と国際協力の両面において、課題解決への取り組みを進めることが期待されています。

こうした動きを受け、今後、JAXAとJICAはどのように連携して地球規模課題の解決に貢献するのか、JAXA奥村理事長がJICA北岡理事長と語り合いました。

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
理事長

JAXA Explore to Realize

おくむら なおき
奥村 直樹

×

独立行政法人
国際協力機構
理事長

きたおか しんいち
北岡 伸一

新春特別対談

すべての国で持続可能な開発を可能とするために

奥村: JICAとJAXAとは2014年4月に連携協力協定を結び、両者の強みを活かして地球規模での課題解決に貢献しようとしています。折しも2015年9月、国連で「我々の世界を変革する:持続可能な開発のための2030アジェンダ(**SDGs**)」が採択されました。こうした世界の大きな潮流の中で両者の関係をどのように発展させることができるか、話し合いたいと思います。

北岡: 「持続可能な開発目標(SDGs)」は、2001年に策定された「ミレニアム開発目標(MDGs)」の後継となるものです。「ミレニアム開発目標(MDGs)」では、ゴールとされた2015年までに、中国、インドなど目を見張る経済成長と貧困削減を果たした国々があった一方で、サブサハラ･アフリカのように、思うように目標を達成できなかった地域もありました。「持続可能な開発目標(SDGs)」は、「ミレニアム開発目標(MDGs)」での評価と反省のもと、よりきめ細かに、より広く、新たなアプローチも動員して作成されたもので、17の目標が示されています。

奥村: 私は「持続可能な開発目標(SDGs)」を通して見たとき、17項目のいずれの目標についても宇宙を通した貢献ができると直感しました。人工衛星による地球観測では、国境を越え各国･各地域の観測データを広範かつ客観的に比較できます。また、観測技術の進歩、センサの空間分解能向上や観測データの高速な送信により、行政における迅速な意思決定と行動を直接支援することが可能になっています。

JAXAは宇宙空間から地球を見ることで地上の課題解決に貢献が可能な、膨大な観測データを得ています。地上で多くの課題解決に取り組むJICAとパートナーシップを組み、こうした観測データを活用することでより大きな貢献が可能ではないか。そう考えて、2014年に連携協力協定を結んだわけです。

宇宙基本法のもと、JAXAは「政府全体の宇宙開発利用を技術で支える中核的実施機関」とされています。また、気候変動や環境問題、食糧問題など地球規模の課題解決に、人工衛星など宇宙システムの活用で貢献していく必要性もうたわれています。地球上で起こりつつある、さまざまな課題への宇宙システムの利用という観点で、JICAと連携することでより早く社会展開が可能になると考えています。

北岡: JICAは、日本政府の政府開発援助(ODA)の実施機関として、開発途上国が抱えるさまざまな課題解決に貢献し、その発展を支援しています。具体的な取り組み手段としては、技術協力、有償資金協力、無償資金協力に加え、青年海外協力隊などのボランティア派遣事業、更に災害発生時の国際緊急援助隊派遣事業もあります。国際的に見ても、このように包括的に支援を実施する組織は、あまり例がありません。

支援のために日本人が海外に行って誠心誠意、現地で活動する姿勢は、世界的にも高く評価されています。これまでに積み上げてきた私たちの実績と信頼に、JAXAが持つ技術力を加えれば、援助対象となる国･地域の住民や政府に対する、大きなアピールポイントになると思います。

地球規模の課題解決を目指し、JAXAとJICAが手を携える

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS
世界を変えるための17の目標

【SDGs】
Sustainable Development Goals

持続可能な開発目標。2015年9月、国連本部で開催された「国連 持続可能な開発サミット」において、「我々の世界を変革する:持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択された。アジェンダは、人間、地球及び繁栄のための行動計画として、宣言に加えて17の目標と169のターゲットを掲げている。

奥村: 宇宙に関連したODA案件としては、ベトナムにおける地球観測衛星の事例がありますね。これは、防災対策などのためベトナム政府が望んだもので、衛星の調達から地上施設整備を含む大掛かりなものです。

北岡: そうですね。日本のODAの特色は、援助対象国にとって「何が最も役に立つのか?」を、現地の人々と対等の立場で一緒に考えようという姿勢です。上から目線ではなく、相手のこと、相手のためをよく考え、相手と同じ目線で議論する。だからこそ信頼されているのだと思います。

奥村: JICAの皆さんは世界のいろいろな地域に溶け込んでいます。同じ目線で現地の方々に直接語りかけているので、その地域社会が抱える課題を的確に把握されています。その強みを、JAXAの強みである技術力と掛け合わせることで、現地の方々に対して、有用な情報をより迅速かつ的確に届けることができると思います。

地球観測衛星のデータを活用した地球規模での課題解決への貢献

奥村: JICAとの協働による取り組みのひとつに、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)を活用した熱帯林の監視システム「**JJ-FAST**」があります。これはALOS-2の前身、ALOSを活用した**ブラジルでの森林監視による違法伐採の検知**でアマゾンの森林減少面積が低く抑えられたという成功を踏まえたものです。JJ-FASTでは、2018年まで

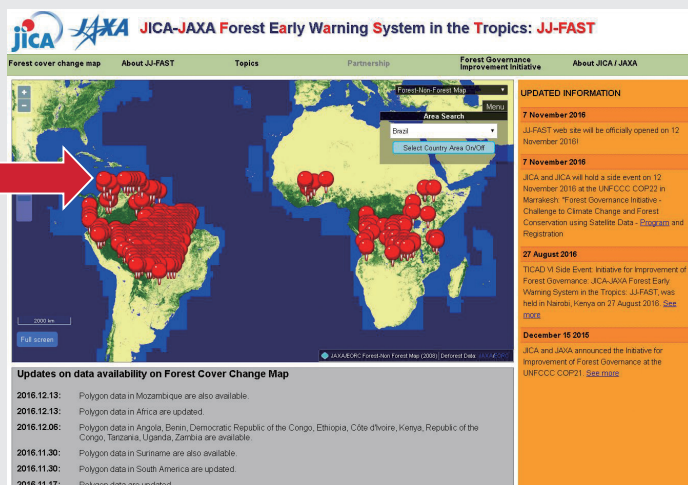
【ブラジルでの森林監視による違法伐採の検知】

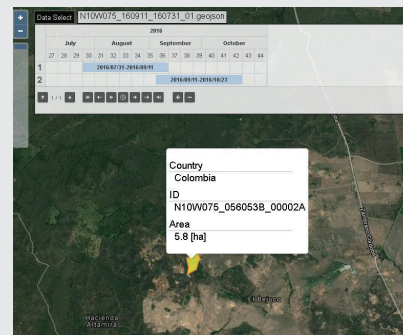
2009年から2012年にかけ、JICAとJAXAが協力してブラジルで実施した森林伐採モニタリングに関するプロジェクト。
JICAの技術協力のもと、JAXAの陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の観測データを用いて違法伐採のモニタリング、検知を準リアルタイムで実施する支援を行った。その結果、2,000件以上の違法伐採を検知し違法伐採が半分以下に減少、また、森林減少面積を40%減少させることに大きく貢献した。

「JJ-FAST」

JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics

JICA-JAXA熱帯林早期警戒システム。陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)を用いて熱帯林の伐採・変化の状況をモニタリングするシステム。2016年11月に中南米地域5カ国のデータから公開を開始した。パソコン・スマートフォンから簡単にアクセスできる。中南米に加えアフリカもデータ公開をスタート。

 http://www.eorc.jaxa.jp/jjfast/

①森林の一部を指す赤いドロップピンをクリック

②赤い点の伐採区域を含む部分がグリッドで示される

③赤い点を更にクリックすると、伐採区域が黄色のポリゴンで示される。その面積は5.8ヘクタール

新春特別対談

に、熱帯林を保有する約60カ国を対象に森林変化情報の公開を目指しています。

北岡: JJ-FASTは、COP22開催期間中の2016年11月にサービスを開始しました。まずは中南米から始め、順次、アフリカやアジアへと対象を拡大する予定です。熱帯林の監視は、気候変動を促進する熱帯林の違法伐採や劣化の抑止、対策に向けた大きな貢献になると期待しています。

ほかにもマラリア対策、不法漁業者の監視など、衛星データを用いた貢献の可能性は幅広いと思います。

奥村: 地球環境の観測ということでは、温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」(GOSAT)も宇宙で活躍しています。JAXAでは環境省・国立環境研究所と協力して、「いぶき」のデータを用いて二酸化炭素(CO_2)濃度を観測しています。その結果、「いぶき」の観測データと、地上でのインベントリ(CO_2の排出、吸収の台帳)の調査結果とがほぼ一致したのです。つまり、地球上の温室効果ガス濃度をかなりの精度で宇宙から推測できる可能性を示せたわけで、今後は、日本のみならず各国のCO_2吸排出量モニターなど、政策判断ツールとしても使える可能性が出てきました。

「いぶき」の後継機として、観測精度を更に向上させた「GOSAT-2」を開発中で、2018年度の打ち上げを目指しています。特定の場所を重点的に観測する機能を強化する予定で、大都市がどれくらい温室効果ガスを排出しているかを、更に細かく見ることが可能となります。

北岡: 以前の「ミレニアム開発目標(MDGs)」では、主に貧困問題にフォーカスが当てられていました。それはもちろん今でも重要なテーマなのですが、同時に、急激な成長を続ける新興国で顕著になってきた課題のひとつが、大都市への人口集中による都市問題です。インフラ整備が追いつかなかったり、自動車の急増による交通渋滞や大気汚染も深刻です。人口密集地域や工業地帯からの温室効果ガスをより高精度に観測できる「GOSAT-2」には、大いに期待しています。

奥村: ありがとうございます。

地球規模の課題解決を目指し、
JAXAとJICAが手を携える

人材育成と民間企業の参画を促進し、課題解決を目指す

北岡: 宇宙空間や宇宙技術の利用は、アメリカ、ロシアのような宇宙先進国だけでなく、新興国、途上国を含め、いろいろな国々が参入できる環境づくりが必要です。そのためには、人材育成(能力開発)が欠かせません。

一例として、途上国における地図づくり支援を挙げてみましょう。この場合、JICAでは地図そのものを作成して与えるのではなく、地図作成に必要なノウハウを教えることに主眼を置きます。たとえ時間がかかっても、将来、途上国が自力で地図を作成できる能力を持てるようにすることが大事なのです。

奥村: 技術を理解できる人材を育成することは重要と考えており、JAXAでも宇宙、航空を題材とした人材育成に力を入れています。

2016年4月、フィリピン初となる国産の小型人工衛星「DIWATA-1」を、ISSの「きぼう」日本実験棟から放出しました。この小型衛星は、フィリピンから留学生、研究者を日本に招き、日本の国立大学の支援の下で開発したものです。フィリピンの関係者にとって自ら衛星の開発や運用を行う機会が得られました。将来、フィリピンの宇宙技術開発を担う人材育成の機会としても機能したのです。アジア地域で唯一、ISS計画に参加するJAXAとして、周辺諸国の人材育成への貢献も惜しみません。

また、技術に興味を持ち、技術を理解できる人材を増やすという観点から、宇宙を題材に理数系教育（STEM教育）を普及させることが重要だと考えており、講演やイベントなどを通じて支援しています。

北岡: 宇宙の利用は超大国や専門機関だけに限られるわけではなく、もっとみんなが関心を持ってくれればいいと思います。例えば、開発費用が比較的、低くできる超小型衛星を活用することで参入障壁をなくすこと、人材育成を拡充すること、そして民間企業を含めた技術革新が成し遂げられれば、今までできなかった分野の観測も可能になり、地球規模の課題解決が更に前進するのではないかと思います。

奥村: 日本では、民間企業が宇宙分野にもっと積極的に参入できる環境づくりに向けて法整備が進んでいます。2016年

11月、宇宙産業への民間企業の参入を後押しする「宇宙活動法」「衛星リモートセンシング法」の2法が成立しました。私は、日本も名実ともに宇宙利用元年を迎えたのかなと感じています。現に、多数の超小型衛星を用いて高頻度に地球観測画像を提供するサービスを行う企業や、月面資源開発の事業化に取り組む企業など、新たな世代の民間企業が宇宙ビジネスに参入しています。

「DIWATA-1」の例のように、もはや宇宙はごく一部の限られた人々だけのものではありません。利用可能な技術や情報を考えると、既に宇宙は全人類にとって身近な存在になっているのです。今後、宇宙技術が一層利用しやすくなり一般化することで、途上国の方々にも利用機会が増し、より多くの人が恩恵を受けられるようになると期待しています。引き続きJICAのお力をお借りしたいですね。

北岡: 宇宙からの情報の活用という点では、フロンティアともいえる未開拓の領域も大きいように思います。JICAが持つ知恵を結集して、JAXAとともに「持続可能な開発目標(SDGs)」の達成を目指し、課題解決へのステップを着実に歩んでいきたいと思います。こちらこそ、どうぞよろしくお願いします。

奥村: 本日は、お忙しいところ、ありがとうございました。

大西卓哉宇宙飛行士が振り返る

宇宙から地上に帰還するまで

2016年10月30日、大西卓哉宇宙飛行士がソユーズ宇宙船でISS第48次/第49次長期滞在から帰還しました。宇宙飛行士がISSに向かう様子は、多くのメディアで話題になるのですが、帰還についてはあまり語られていません。そこで大西宇宙飛行士に、自らが体験した「宇宙からの帰還」を語ってもらいました。

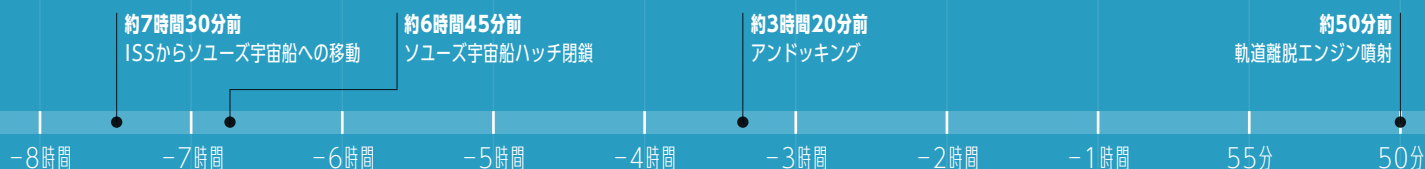
取材：荒舩 良孝（科学ライター）

ISS最後の1日

最後の1日は、今まで使っていた個室スペースを掃除して、次に使うクルーたちが、ISSでの生活をスムーズにスタートできるように心がけました。自分たちが来たときも、前任のクルーが準備してくださったことがわかっていたので、私も同じようにしっかりと準備したうえで出発しようとの思いでした。そのあと、「こうのとり」6号機（HTV6）の個人的な引き継ぎ式として、ISSのドッキングポートに記念に貼る予定のミッションステッカーをキンブロー宇宙飛行士に託しました。

「こうのとり」6号機（HTV6）のミッションステッカーをキンブロー宇宙飛行士に手渡す
大西卓哉宇宙飛行士のGoogle+より

約7時間30分前 ISSからソユーズ宇宙船への移動
約6時間45分前 ソユーズ宇宙船ハッチ閉鎖
約3時間20分前 アンドッキング
約50分前 軌道離脱エンジン噴射

−8時間　−7時間　−6時間　−5時間　−4時間　−3時間　−2時間　−1時間　55分　50分

ハッチクローズ

ソユーズ宇宙船に乗り込む直前に、見納めとして「きぼう」の実験室や保管室を見渡すと「もう帰るのだな」と実感が湧いてきました。ソユーズのハッチを閉める前には、ISSに残る宇宙飛行士たちと最後のお別れをする「ハッチクロージングセレモニー」が行われることが多く、私もそのつもりでいましたが、今回はセレモニーらしいものはありませんでした。気が付いた時には、ソユーズのハッチを閉める段階で、「聞いてないよ」という感じで、焦ってしまいました。ハッチの向こう側にいる宇宙飛行士に、さよならや感謝の言葉を伝えられなかったのがとても残念でした。

ハッチクローズの直前、手を振る大西宇宙飛行士

アンドッキング（離脱）前

ハッチを閉めてから、アンドッキングするまでは2～3時間あって、手順もしっかりと頭に入っていました。そのため、少しは余裕があるかなと思っていたのですが、実際に手順を踏んでいくと、ISSとソユーズ間の気密性チェックやソコル宇宙服の着用など時間がかかる作業が多く、思っていた以上に忙しかったです。ゆっくりと外を見る余裕はありませんでした。

軌道離脱噴射

軌道離脱噴射を終えた後は、ソユーズの高度がどんどん下がっていきます。大気圏に突入するまでの20分くらいまでの間、地球の輪郭が明るく照らされているのが見えました。自分たちの高度が下がるに従って、その輪郭線が傾いていく様子を、「宇宙から見るのはこれが最後だろうな」と思いながら、窓からずっと見つめていました。

大気圏突入が危険を伴うことはわかっていました。ISSにいるときも、「無事に帰れるかな?」と考えたりしましたが、いざ、直前まで来ると、考えても仕方がない気持ちになりました。また、これまでソユーズ

ISSからアンドッキングするソユーズ宇宙船

ソユーズの軌道離脱噴射のイメージ図

モスクワ管制センターから

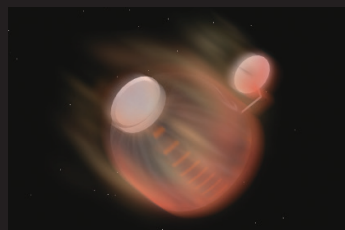
最新の軌道情報や気象情報に基づいた軌道離脱噴射の時刻やエンジンの噴射時間、パラシュート展開予定時刻などのデータを音声で受信する。

軌道離脱エンジン噴射前：ISSから

ISSから通信が入って、リジコフ・ボリシェンコ・キンブローの3宇宙飛行士が、「この先、気を付けて」といった言葉を思い思いにかけてくれた。

大気圏突入

大気圏に突入すると同時に、窓の外にオレンジ色の火花のようなものが見えました。しかし、1分くらいで窓が焼け焦げてしまうので、その後は何も見えなくなります。この様子を外から眺めたら、火の玉に包まれている状態なのだろうと思うと、あまりにも非現実的な状況に身を置いていることに対し、何となく笑いがこみ上げてきました。

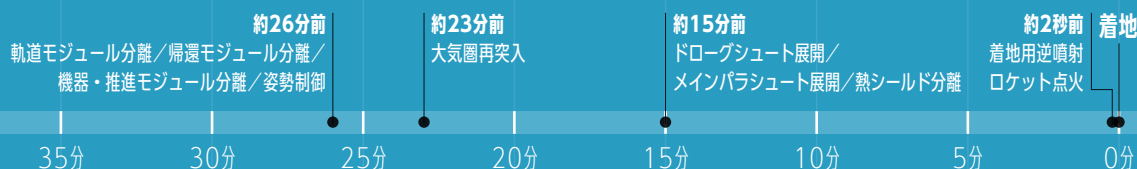
大気圏に突入後、少しずつGがかかってきます。空気の層が厚くなるに従って、Gが大きくなっていき、パラシュートを開く直前には風の音が聞こえました。この風の音で、自分が空気の中にいるのがわかりました。パラシュートを開いた後は、回転するボールの中にいると思うほど、大きな揺れと振動が30〜40秒ほど続きました。

帰還モジュール(カプセル)大気圏突入のイメージ図

ヘリコプターの救援チームからの交信

パラシュートで降りてくる帰還モジュールを目視でとらえ、「よし、衝撃に備えろ」との指示が飛ぶ。

パラシュートで降下する帰還モジュール(カプセル)

時刻	出来事
約26分前	軌道モジュール分離/帰還モジュール分離/機器・推進モジュール分離/姿勢制御
約23分前	大気圏再突入
約15分前	ドローグシュート展開/メインパラシュート展開/熱シールド分離
約2秒前	着地用逆噴射ロケット点火
0分	着地

45分 40分 35分 30分 25分 20分 15分 10分 5分 0分

で仲間たちが確実に帰ってきているのを目の当たりにしているので、「自分も同じように、何事もなかったかのように帰るのだろうな」という漠然とした安心感があったのです。

軌道モジュールと機器・推進モジュールが切り離されて、帰還モジュール(カプセル)だけになると、後は運命に身を任せ、ひたすら落ちていくだけです。モジュールを切り離した瞬間は、完全に受け身になる瞬間なので、「ここから先は自分ではどうすることもできない」という心理的な心細さを感じました。

ソユーズのモジュール分離のイメージ図

モスクワ管制センターから

最新のデータが音声で送られてくる。予定と少し異なる軌道に入っているため、軌道離脱噴射の時刻が1秒早まった。

着陸

カザフスタン共和国に着陸した帰還モジュール(カプセル)

着陸は、鉄球が硬いものに当たるように、「ゴッ」と一瞬、強い衝撃があるだけで、とても驚きました。着地した瞬間は、カプセルが地面に対してどのような向きになっているのかが、まったくわかりませんでした。自分の頭の中で重力をどう受け止めていいのかもわからない状態だったのです。救援チームからの「真っ直ぐ立ってるよ」という連絡で、体操選手の着地のように見事な着陸だったと知りました。

カプセルのハッチが開いて両脇から引き上げられた後に、待っていたのは高さ2メートルほどの急な滑り台でした。足腰が重く、自分だけでは体を支えられないので、ここを滑ることは、大気圏突入並みに危険なように思いました。でも、下で支えてくれる人たちを信じ、滑り降りました。

地球に着いてから、とてもしゃべりにくく、ろれつが回らなかったのですが、その原因は舌が重くなっていたのです。普段、私たちが話をするときは、地球の重力に逆らって舌を動かしています。宇宙で生活して地上に帰ってくると舌が重いと感じ、それにはとても驚かされました。

滑り台を使って帰還モジュール(カプセル)から外に出る大西卓哉宇宙飛行士のGoogle+より

今回、リハビリの一部を日本で行いました。JAXA宇宙飛行士が長期滞在後に、日本でリハビリを実施するのは初めてだそうです。この時期に日本に帰れるとは思ってなかったので、とてもうれしかったです。ISSには季節感がないので、日本に帰ってきて、イチョウが黄葉している姿などが目にしみました。

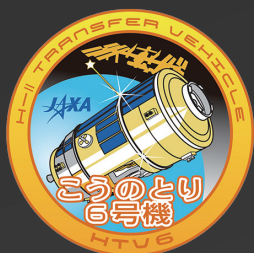
筑波宇宙センターでのリハビリ:「重いバスケットボール」のようなメディシンボールを用いた運動

KOUNOTORI6
H-IIB Launch Vehicle No. 6

補給能力は世界最大!

国際宇宙ステーション(ISS)を支える

「こうのとり」

―充実したサービスで、ISSに荷物を運びます―

2016年12月9日、宇宙ステーション補給機「こうのとり」6号機(HTV6)が打ち上げられ、ISSに長期滞在する宇宙飛行士たちの活動と生活を支える物資を運びました。その働きぶりを見ていきましょう。

●世界に誇る輸送力

「こうのとり」は2009年の初号機以降、常に物資搭載方法の効率化を図ってきました。今回の6号機と初号機とで比較すると、与圧部積載輸送用バッグ(Cargo Transfer Bag: CTB)は約40個分も多く積み込めました。米国・ロシアの補給船の物資補給能力が約2〜3トンであるのに対し、「こうのとり」は最大約6トンを運ぶことができる世界最大の補給船です。

●柔軟な速達サービス

通常、搭載物資は打ち上げの約4カ月程前に機内に積み込みます。ただし、ライフサイエンスの実験試料や生鮮食品は、品質保持のため打ち上げ直前に搭載します。その場合、「こうのとり」では、10日〜80時間前まで荷物を受け付ける「速達サービス(レイトアクセス)」を提供しています。速達サービスでは、米国・ロシアの補給船に比べ10倍近くの物資を積み込むことが可能で、さまざまな搭載要求に対する、柔軟な対応を実現しています。

●安心の実績

「こうのとり」は2009年の初号機以来、一度の失敗もなく継続して打ち上げられ、ISSに長期滞在する宇宙飛行士たちの生活と活動を支えています。ISS計画は2024年まで延長することが正式に決定され、今後も、一層確実な輸送手段が必要とされています。「こうのとり」のみならず、地上の運用管制チームも含めて、その安定した仕事ぶりには、世界が高い信頼を寄せています。

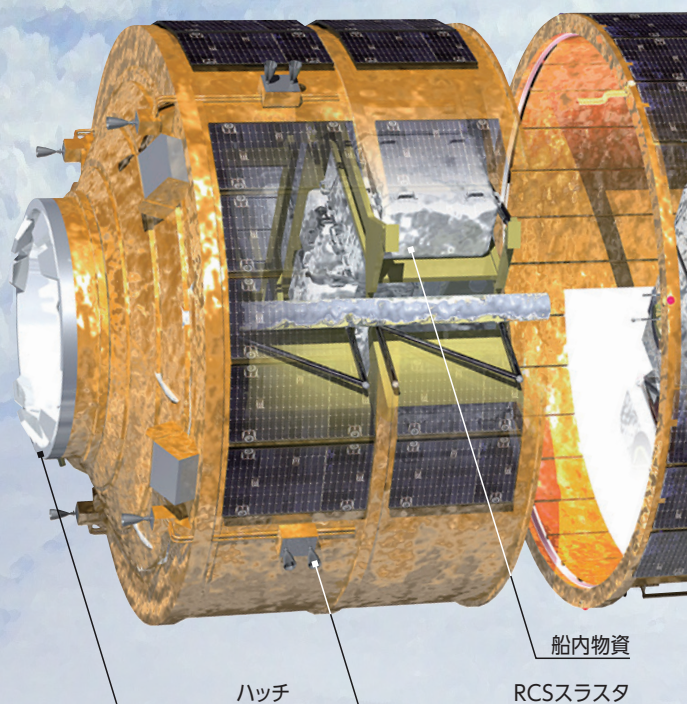
宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)の新着情報はこちら
http://iss.jaxa.jp/htv/

補給キャリア与圧部

●超小型衛星、小型衛星放出機構

「こうのとり」と「きぼう」日本実験棟が提供するサービスの一つに超小型衛星放出があります。超小型衛星を宇宙に運ぶための、ロケット打ち上げ以外の手段として世界から注目を集めています。6号機では7機の超小型衛星を「きぼう」に届けました。そのうち静岡大学の「STARS-C」を、ISSに運び込んでから最短6日間で放出(2016年12月19日)。「こうのとり」と「きぼう」の超小型衛星放出は、利用ニーズに合わせ、宇宙への打ち上げ時期や放出時期について柔軟に対応できることも大きな魅力です。

放出能力を倍増させた小型衛星放出機構(J-SSOD)。今後も段階的に機能向上を目指す

「きぼう」から放出される「STARS-C」

補給キャリア非与圧部

●ISS用新型バッテリ

現在、ISSで使用されているニッケル水素バッテリは老朽化が進み、今後、日本製リチウムイオン電池を使用した新型バッテリに置き換えられていきます。現状のニッケル水素バッテリは全部で48個ですが、新型バッテリは半分の24個で必要な電力を賄えます。ここでも日本の技術がISSの運用を支えています。

●種子島の飲料水と日本産の生鮮食品

飲料水用の水バッグ30個、計600リットルは宇宙飛行士3人の4カ月分に当たり、リサイクルしながら使います。ロケット発射場のある種子島は地下水や湧水に恵まれ、NASAの基準を満たす水を精製、殺菌成分として微量のヨウ素を加えて水バッグ（CWC-I）に充填します。

今回、生鮮食品として「4週間以上、常温保存ができる」「果汁が大量に飛散しない」などの基準に沿い、タマネギ（北海道）・リンゴ（青森／茨城）・温州ミカン（大阪／愛媛／佐賀）・レモン（愛媛）を選定しました。

水バッグ（CWC-I）

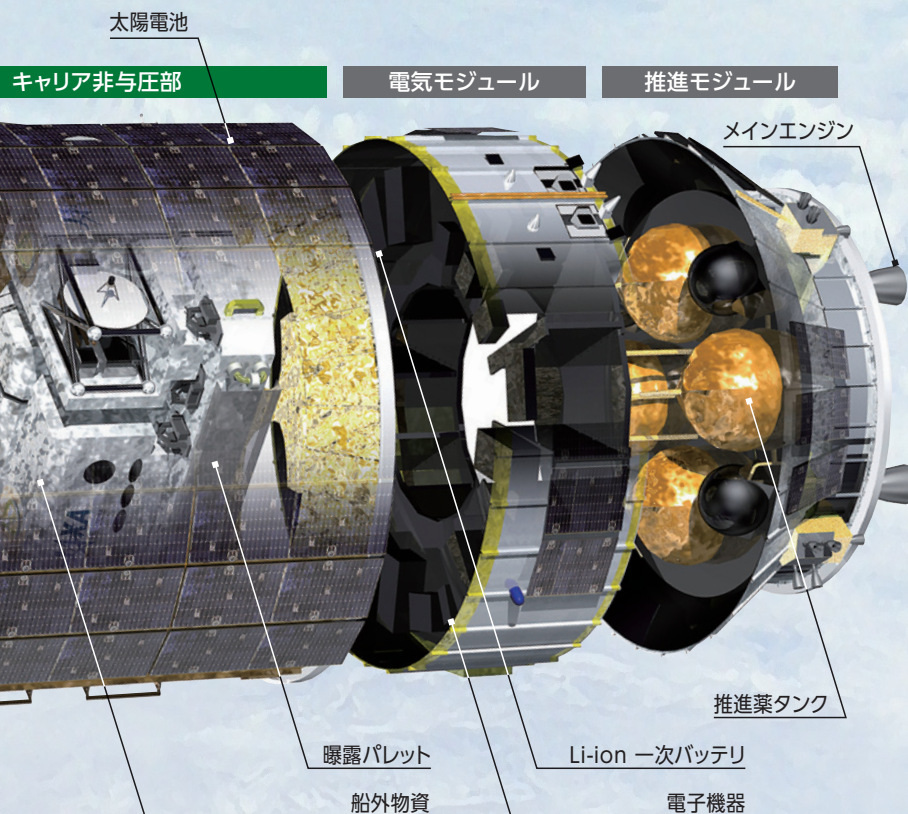
「こうのとり」6号機で運ばれたリンゴを浮かべる宇宙飛行士たち

●二酸化炭素除去装置（CDRA）交換ユニット

ISSで宇宙飛行士の生命を守る重要な装置の一つが、二酸化炭素除去装置（Carbon Dioxide Removal Assembly: CDRA）です。長期間の運転により、二酸化炭素を吸着する二酸化炭素吸着剤（CDRAベッド）が交換時期を迎えたため、交換用部品を2台補給しました。

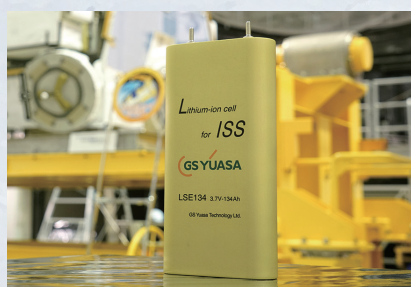
●トルコ共和国の材料曝露実験用試料（ExHAMサンプル）

JAXAとトルコ共和国 運輸海事通信省との「きぼう」日本実験棟の利用に関する協力合意に基づき、「きぼう」船外にある簡易曝露実験装置（Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism: ExHAM）で実験を行うための試料を運びました。

GSユアサ製のリチウムイオン電池

バッテリを取り付けた曝露パレット

「種子島の水」は蛇口から

「こうのとり」による飲料水の輸送は2011年に打ち上げた2号機から始まりました。宇宙飛行士たちのノドを潤し、宇宙生活に欠かせない「種子島の水」は、種子島宇宙センター内にあるシンクの蛇口から取水しています。

2015年8月打ち上げの「こうのとり」5号機での輸送時に撮影

地球を見守り、社会に役立つ地球観測衛星たち

第3回　困難を乗り越え、挑み続けたからこそ次が見える

日本の地球観測衛星 30年の歩み

1987年、日本初の地球観測衛星「もも1号」(MOS-1)が打ち上げられました。それから30年を迎えた我が国の観測衛星の開発利用技術は、今や、世界のトップレベルにあると言えます。この長い歴史の中には、ミッションを達成できないまま衛星を喪失するという失敗も経験しました。これまでの軌跡を簡単に振り返りながら、今後の地球観測の方向性を考えてみましょう。　(理事 山本静夫)

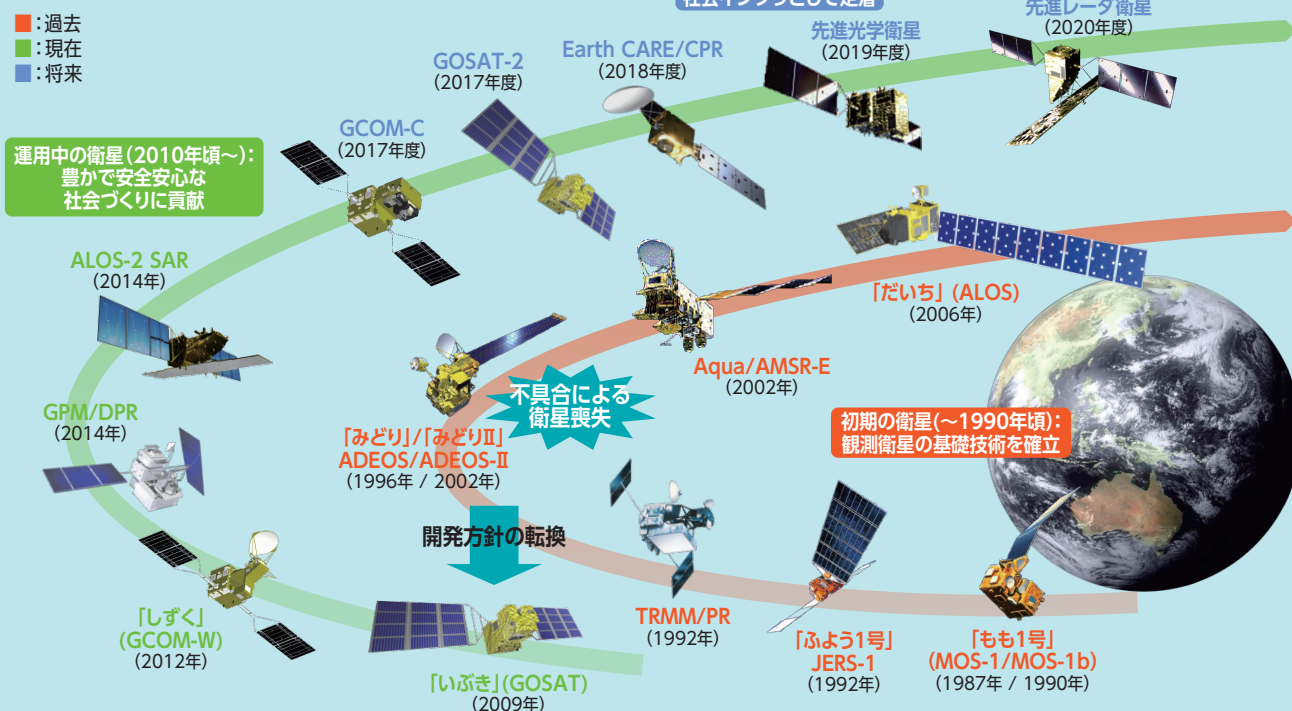
我が国らしい自前の地球観測衛星を

地球観測衛星の歴史を振り返ると、何といってもNASAの「Landsat-1」(ランドサット1号)が思い浮かびます。この衛星が打ち上げられた1972年こそ、地球観測衛星時代の幕開けといえるでしょう。ランドサット1号は、穀物の収穫予測、土地利用、資源探査などさまざまな利用の地歩を築き、このシリーズは、これまで8号機まで継続的に打ち上げられ、今も運用中です。

「Landsat」に続きNASAは、1978年に海洋を主に観測する「Seasat」(シーサット)も打ち上げました。「Landsat」が光学センサを使って地球を観測する衛星であるのに対し、「Seasat」はマイクロ波を使って地球を観測するタイプ。最近の衛星にも搭載されている合成開口レーダ、マイクロ波高度計、マイクロ波散乱計などのレーダタイプの観測機器は、ほとんどが「Seasat」に搭載されたセンサが原点になって発展を遂げたものです。

我が国における地球観測衛星の歴史は、JAXAの前身である宇宙開発事業団(NASDA)による「Landsat-2」(ランドサット2号)と「Landsat-3」(ランドサット3号)のデータ受信で始まります。当時、ランドサット衛星のデータは、米国の他、欧州、カナダ、ブラジルなどの国で受信されており、世界中が、現場観測や航空機観測にはない衛星観測の新しい可能性に注目するようになりました。

我が国も、1978年10月に埼玉県に地球観測センターを開設し、翌年1月からランドサット2号、3号のデータの受信が始まりました。海外の衛星を受信するだけではなく、自ら地球観測衛星を持とうという機運も高まっていました。そして、科学技術庁(当時)の中に「リモートセンシング推進会議」が設置され、日本初の地

「Seasat」

球観測衛星の誕生への道が切り拓かれたのです。1987年2月に種子島宇宙センターから海洋観測衛星「もも1号」（MOS-1）が打ち上げられ、我が国の人工衛星による地球観測が本格的にスタートしました。それから30年の間に、NASA衛星にJAXAの観測センサを搭載した衛星も含め、11機の地球観測衛星が打ち上げられ、現在も4機の衛星が運用中です。

苦い経験から、トラブルに強い人工衛星開発に向けて

私たちの地球観測衛星は、常に順風満帆だったわけではありません。今振り返って一番つらかったのは、地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」（ADEOS）と環境観測技術衛星「みどりⅡ」（ADEOS-Ⅱ）の失敗が重なった時代です。「みどり」は1997年6月に、また、「みどりⅡ」も2003年10月に、ともに太陽電池パドルの故障で衛星を失ってしまいました。我が国の観測機器だけではなく、同時搭載していた米国のNASAやフランスのCNESといった海外宇宙機関の観測機器もすべて使えなくなってしまいました。国内外の期待に応えられなかったことは、申し訳なくもあり、まだまだ足りないところが多いとの思いがありました。

技術力の向上は勿論のこと、他にも改善点がありました。当時は一機の人工衛星にいくつもの観測機器を載せるプラットフォームタイプの宇宙機が欧米でも用いられていました。しかし、JAXAは、経験した失敗から、このやり方はあまりにリスクが大きいと学びました。それ以降、私たちは、一つの人工衛星に多種類の観測機器を同時搭載することを避けて、出来る限り複数の衛星に観測機器を分散させて載せるようにしました。リスクの分散だけでなく、衛星の開発期間の短縮にもつながります。

また、我々が経験した故障は、衛星の片側側面に展開する一翼式の太陽電池パドルでした。一翼しかないパドルが壊れて、衛星に電力を供給できず、運用を断念せざるを得ませんでした。この失敗以降、私たちは、単系の故障がシステムの全損に至らないようにすることを、これまで以上に注意するようにしました。一例は、2009年に打ち上げられた温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）のシステムです。太陽電池パドルを2翼式にして、1翼が故障して電力供給が半減しても、主要な機器の運用が継続できる設計となっています。その後の衛星開発にも同様の思想が採用され、基本的には太陽電池パドルは2翼式が主流となっています。

「みどり」と「みどりⅡ」の失敗は、確かに苦い経験でした。この苦しい時期を乗り越えて今の地球観測衛星がありますが、今後さらに高機能・高性能化する衛星開発の中での信頼性向上の取り組みには終わりはなく、まだまだ道半ばであり油断は禁物です。

設計寿命をはるかに超えた「TRMM」

さまざまな衛星プロジェクトの中でも、特別な思いがあるのは、日米共同で開発した熱帯降雨観測衛星「TRMM」（トリム）計画です。地球全体の降雨量のうち約3分の2を占める熱帯・亜熱帯域の雨を主に観測する衛星です。雨が降るという現象は、見方を変えれば熱エネルギーを海上や大気中で大規模に交換しているわけで、広い範囲で降雨を観測することは、各国の気象機関における気象予報への活用だけではなく、地球規模の気候変動対策への取り組みにも役立てられてきました。この分野を専門に扱う政府間パネル（IPCC）の報告書にも引用されています。

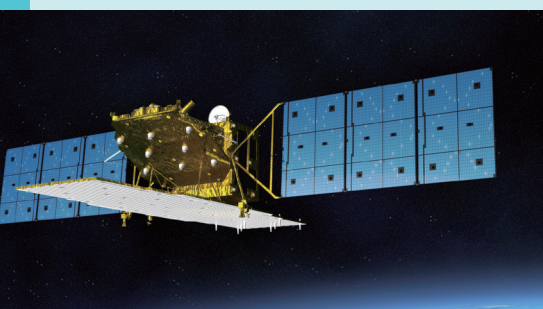
このプロジェクトの一つの特色が、日米間で同等な責任分担で遂行された点です。

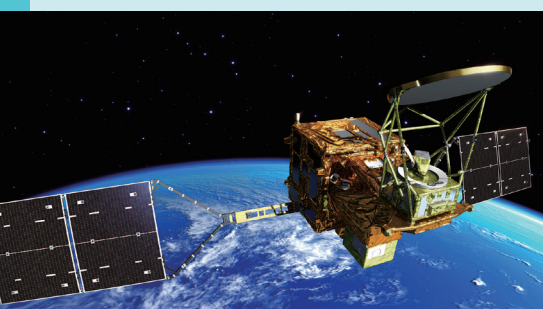
日本側はNASDAと電波研究所（当時）との共同プロジェクトでした。日本が開発した降雨

熱帯降雨観測衛星「TRMM」

現在運用中の地球観測衛星

全球降水観測計画/二周波降水レーダ「GPM/DPR」

2014年2月に打ち上げ。主衛星と副衛星群からなる国際的な観測計画により、全球の降水観測を行う。主衛星が搭載する二周波降水レーダ（DPR）を日本が開発。

陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）

2014年5月に打ち上げ。自然災害の被災地を広範囲かつ昼夜・天候の影響を受けずに観測する。陸域観測技術衛星「だいち」の後継機。

水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W）

2012年5月に打ち上げ。降水量、水蒸気量、海水温、土壌の水分量など地球の水循環の観測を長期間、行い地球環境の変化を監視。

温室効果ガス観測技術衛星「いぶき」（GOSAT）

2009年1月に打ち上げ。二酸化炭素やメタンなど温室効果ガスの濃度分布を高精度で観測し、温暖化防止の国際的な取り組みに貢献。

レーダをNASAが開発した衛星に載せて、その衛星を日本のロケットで打ち上げるというものです。互いに大きな役割を担い合ったイコールパートナーシップの計画です。

この共同プロジェクトでは、「プログラムマネージャ」、「プロジェクトマネージャ」そして「チーフサイエンティスト」を両機関に夫々置く体制で進められました。このうち、私は、日本側の「プログラムマネージャ」になりました。両国の予算制度、マネージメントの仕組み等々、異なる文化・価値観の中での国際分業を円滑に進めるためには、国内外にさまざまな調整事項が発生します。それらを処理するのが「プログラムマネージャ」の役割ですが、分かり易く言えば、あらゆる雑務を処理する「何でも屋」とでもいうのでしょうか。

1997年11月に種子島宇宙センターから打ち上げられた「TRMM」を、現地でNASAのメンバーと見守りました。「TRMM」の設計寿命は3年2カ月でしたが、異常気象や環境問題の深刻さが増すごとに、日米両国の利用者から、「TRMM」の運用継続の要請が高まり、さまざまな努力と工夫を尽くして、17年間にわたって貴重なデータを取り続けることができました。そして、ついに2015年4月に寿命を全うしました。ちょうどその時、私は今の立場で「TRMM」の最期に立ち会いました。日本が分担した降雨レーダをはじめ、全ての機器のスイッチを切って衛星の運用を終えたとNASAから連絡を受けました。衛星の「誕生」と「最期」の局面に立ち会うことができたというめぐりあわせもあり、「TRMM」計画は、私にとって特別なものとなりました。

社会の豊かさ・便利さへの貢献と、それを実現するための新しい技術への挑戦

最近の宇宙開発・利用を取り巻く環境は大きく変わりつつあります。新たなプレーヤーとしてのベンチャー企業の出現、アジアをはじめとする新興国の台頭等、新たな時代を迎えています。そのような中で、これからのJAXAの地球観測は、どこに向かうべきなのか、何をすべきなのかと考えてしまいます。大きく二つのことがあると思っています。社会の豊かさ・便利さへの貢献と、新しい技術の先導です。

人工衛星によって、今までにない便利さや豊かさを社会に示すことができないか？　この点が、今後ますます重要になるでしょう。例えば、2015年の春から夏にかけて、陸域観測技術衛星2号「だいち2号」（ALOS-2）の高性能な合成開口レーダ（SAR）が、箱根山の火山活動における地表の異変を捉え、その情報が地域の立ち入り規制や安全対策の判断材料として活用されました。また、高性能のSARデータの干渉処理を時系列的に解析することで、空港、ダム、河川提防などの人工構造物の小規模な隆起や沈降も捉えることが可能となりつつあります。全国に数多く存在する公共インフラの老朽化を把握するために役立てられないか検討が続けられています。衛星ならではの強みを発揮し、私たちの生活をより便利で豊かなものにするために、取り組まなければならない例ではないでしょうか。

観測データを活用し、便利さや豊かさを生み出すメインプレーヤーは、JAXAだけでは実現できません。むしろJAXAの外にあるともいえます。例えば、防災に関しても、所管する国の行政機関、地方自治体等の利用に結び付かなければ意味がありません。環境、気象、農林水産等いずれの利用も同様。彼らがこれまで保有していた情報やシステムの中に、衛星による観測情報が組み入れられて、これまでにはなかった新たな利便性や豊かさを生み出せる社会インフラの構築を目指しています。

また、新しい技術を開拓する使命も、私たちにはあると思います。これまでの実績を足がかりに、さらに深く技術開発を進める垂直的なアプローチだけにとどまらず、広くアンテナを張り巡らせて、異種の産業の新たな技術を応用する水平的なアプローチも不可欠です。例えば、最近の報道でも良く出てくる人工知能技術（AI）を用いたデータ判読や解析技術は、むしろ宇宙以外の分野で急速に進展しているもので、宇宙の分野にももっと取り込めるはずです。

いずれにしても、より豊かな社会の実現に向けた取り組みと新技術への挑戦が車の両輪となって前に進むことが大切だと思っています。地球観測の活動領域は大変広く、また、多くの方々の力を集約し実現するプロジェクトばかりです。30年の時を経て、改めてそう思います。原点を忘れず、JAXAのコーポレートスローガン「Explore to Realize」に挑み続けたいと思います。

「強化型」でイプシロンロケットをパワーアップ

Epsilon Launch Vehicle

試験機の打ち上げに成功した後、開発を続けているイプシロンロケット。強化型(2号機)はジオスペース探査衛星(ERG)を搭載し、2016年12月20日に内之浦宇宙空間観測所より打ち上げられます。強化型の目的や試験機との違いを、簡単にご説明しましょう。

第一宇宙技術部門　イプシロンロケットプロジェクトチーム　サブマネージャ　井元 隆行(いもと たかゆき)

強化型イプシロンロケット
1/20サイズ模型の横に立つ
井元隆行

機体に刻まれた応援メッセージ

打ち上げ能力を向上

強化型開発は、海外を含む多くの人工衛星や探査機の打ち上げニーズに応えられるよう、より大きく重い衛星を軌道に投入するため、打ち上げ能力を向上させます。最大の強化ポイントとして「2段モータを大型化し推進薬の量を増大」「衛星の格納エリアを拡大し、フェアリング全長を最適化」が挙げられます。

さらに、新たな基幹ロケットとして開発中のH3ロケットとのシナジー対応も図り、技術強化や効率化を進めています。例えば、強化型の2段モータで開発した断熱材の設計に関する新規技術などを、H3ロケットの固体ブースタSRB-3に適用します。逆に、SRB-3を今後、イプシロンの1段モータに適用する予定です。これら以外の基盤技術についても、相互の活用を検討中です。

試験機での教訓を活かす

試験機では、射場への1段モータ搬送中にトランスポータが故障して路上で停止するというアクシデントが発生しました。その後、打ち上げを二度にわたり延期しました。この延期はいずれも「事前の検証不足」が大きな要因です。短期間での開発および打ち上げというハードスケジュールの中、結果的に検証不足になってしまいました。

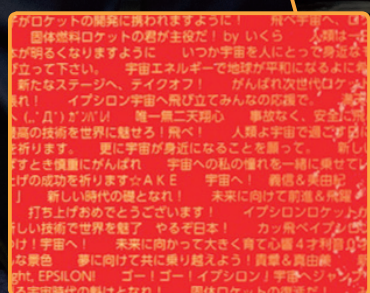
2号機ではこの3つのリベンジを目標に掲げました。射場への搬入を無事に終え点検も良好に進行中であり、2つのリベンジは果たしました。残すは打ち上げ直前の緊急停止のみで、事前の検証を充実させて臨む予定です。実際の打ち上げ作業については万全を期しますが、天候悪化や、万が一、ロケットのどこかに少しでも異常の兆候が見られれば、打ち上げを中止します。

世界のロケットを先導するために

試験機(1号機)・強化型(2号機)に続き、すでに3号機と4号機の開発にも着手しました。3号機では衛星にとっての「乗り心地のよさ」を実現するため衛星分離時の衝撃を抑える機構を新たに備え、4号機では主衛星に加えて50㎏級の衛星や「CubeSat」など複数の小型衛星を搭載する予定です。

イプシロンロケットの目標は、世界のロケットを先導していくことです。その達成においては、ロケットに限らず幅広い分野の最新の技術動向に目を向け、日々の業務に取り込まなければなりません。そのためには「オールJAXA」の力が必要です。

さらに、国民の皆様の応援も励みになります。2号機も試験機と同様、多くの方々からいただいた応援メッセージを機体に刻みました。皆様の熱い想いと共に宇宙へと向かう強化型イプシロンロケットへのご声援を、引き続きよろしくお願いします。

※本記事は、2016年11月に執筆されたものです。

ジオスペース探査衛星（ERG）プロジェクト

「宇宙のさえずり」と電子の関係を解き明かす

イプシロンロケット2号機で打ち上げるジオスペース探査衛星（Exploration of energization and Radiation in Geospace : ERG）は、放射線粒子が飛び交うヴァン・アレン帯の中で観測を行います。ERGの活躍でどのようなことがわかるのでしょうか？

取材：荒舩 良孝（科学ライター）

名古屋大学宇宙地球環境研究所 准教授/
宇宙科学研究所 太陽系科学研究系
客員准教授
宇宙科学研究所
ジオスペース探査衛星プロジェクトチーム
プロジェクトサイエンティスト
三好 由純（みよし よしずみ）

ERGプロジェクトの概要

ERGプロジェクトには、JAXAを中心に、国内外の約30の大学・研究機関から100名以上の研究者が参加。ERGによる放射線帯の直接的な観測に加え、地上からのオーロラなどの観測、コンピュータを使った理論的な解析・シミュレーションを行う3つのグループに分かれて進められている。いろいろな分野の専門家が協力し、多角的に研究していくことで、広いジオスペースで何が起きているのかを理解していく。

1 宇宙天気が変化する原因を探る

地球上では、晴れて穏やかな日もあれば、台風がやってきて荒れる日もあります。実は、地球上だけでなく宇宙空間にも宇宙天気（space weather）があるのです。宇宙天気に大きな影響を与えているのが、太陽からやってくる電気を帯びた粒子の風で、これは太陽風と呼ばれています。「太陽風がいつも一定であれば、穏やかな状態が続きます。しかし、太陽の活動状況によって、速い風や密度の高い風がやってきたりして、時々刻々と大きく変化します。その影響を受けて、宇宙天気も変化して、ときに宇宙に嵐が起こることもあるのです」と、ERGプロジェクトのプロジェクトサイエンティストを務める名古屋大学准教授の三好由純さんは語ります。

地球周辺の宇宙空間のことをジオスペースといいます。ジオスペース探査衛星（ERG）は、ジオスペースでどのようなことが起こって宇宙天気が変化するのかを探っていきます。ジオスペースの中でも、宇宙天気に大きな影響を与えているのが、地球をドーナツ状に取り巻く放射線帯（ヴァン・アレン帯）と呼ばれる部分です。

放射線帯はエネルギーの高い電子などがたくさん存在している場所で、宇宙嵐が発生すると電子の数が1000倍になってしまうこともあります。「しかも、ただ増えるのではありません。宇宙嵐が起きると、放射線帯の電子が一度姿を消してから、嵐が収まった後に以前の1000倍の量になるというように、とても不思議な増え方をするのです。ERGは、放射線帯でエネルギーの高い電子がどのようにして増えるのかを調べていきます」（三好さん）

地球とERG

放射線帯（ヴァン・アレン帯）内部の様子を直接、観測する衛星は世界でも非常に珍しい。ERGは超高エネルギー電子分析器、プラズマ波動・電場観測器など9個のミッション機器を駆使して、放射線帯の中で起きている現象を観測していく。

2 「宇宙のさえずり」が電子を増やす?

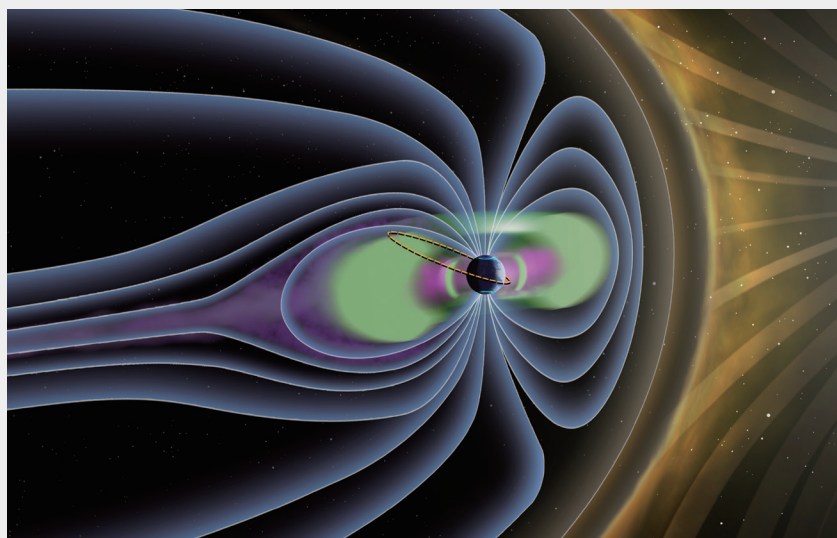
放射線帯でエネルギーの高い電子が急激に増えることによって、人工衛星の運用に支障が生じることもあり、私たちの生活にも大きな影響を与える場合があります。電子が増える仕組みを明らかにすることは、宇宙を安全に利用していく上でも、とても重要なのです。

実は、放射線帯の電子が増えるときには、北極や南極でオーロラの活動が活発になり、宇宙空間で特別な電波が発生することがわかっています。「この電波は人間の耳で聞こえる周波数帯で、スピーカーにつなぐと小鳥のさえずりのような音がするので、『宇宙のさえずり』と呼ばれています。私たちは、このさえずりのような電波が放射線帯のエネルギーの高い電子をつくっているのではないか、と考えています」と三好さんが説明してくれました。今後、放射線帯の内部でERGが直接、観測を行えば、「宇宙のさえずり」とエネルギーの高い電子との関係が明らかになってくるでしょう。

3 放射線に耐える高い機体性能

人工衛星にとって放射線帯はとても危険な場所です。普通の人工衛星はここを避けた軌道を通ります。しかし、ERGは放射線帯の中に飛び込み、過酷な状況のもとで観測を行います。そのため、放射線への高い耐性が求められ、通常の衛星よりも分厚いアルミニウムで機器を覆いました。それに加え、宇宙空間の中でイオンや電子を精密に測定するために、衛星の表面に電気が溜まらないようにしたり、衛星が積んだコンピュータからの電磁波が観測に悪影響を及ぼさないようにして微弱な電波を測定できるようにするなど、機体にはさまざまな工夫が施されています。

「打ち上げ前のERGと対面しましたが、JAXAや開発チームの大学の先生方、メーカーの皆さんが部品1点1点から検証し、きめ細かくつくりあげてきた努力の成果であり、とても素晴らしい衛星になっていました。次は、私たちサイエンスチームが、ERGから得られる観測データを使って、いい科学的成果を挙げる番だと気を引き締めています」（三好さん）

※本記事は、2016年11月時点の内容です。

太陽風と磁気圏

電気を帯びた粒子の集団である太陽風がやってきて、地球の磁場と反応すると、地球の周りには磁気圏と呼ばれる領域がつくられる。磁気圏の中には、電子などの粒子がたくさん存在するほかに、電波なども発生する。放射線帯（ヴァン・アレン帯）は、磁気圏の中でも地球に近い部分にあり、その内部にはエネルギーの高い電子が存在する。

FaSTAR――世界最速の計算力で航空機開発を先導するソフト

空気の流れを短時間で解析し 航空機のベストな形を見つけ出す

航空機の開発には多くの時間とコストがかかります。その開発の中でも、飛行の安定性や燃費の良さに関わる機体の設計は難所の一つであり、コストがかかるところです。近年は、コンピューターで空気の流れや力をシミュレートして調べられる流体解析ソフトが用いられ、コストの大幅削減にもつながっています。JAXAはこれまで蓄積した技術の上に、世界最速の流体解析ソフト「FaSTAR」を開発しました。

取材：宇津木 聡史（科学ライター）

航空技術部門
数値解析技術研究ユニット
（併任）次世代航空イノベーションハブ
主任研究開発員
橋本 敦（はしもと あつし）

航空機の開発に不可欠な流体解析ソフト

空港のラウンジで搭乗の順番を待っているとき、窓の向こうに見える航空機の姿の美しさに見とれることがありませんか。この機体の形は、どのように生まれるのでしょうか。航空機の開発の現場では、飛行時の安定性や空気抵抗の少なさなど、機体が受けるさまざまな力を分析しながら最適な形を決めていくそうです。

「**CFDソルバ**とは、コンピューターを用いて流体力学の方程式をを解くためのソフトのことで、これを使うことにより、航空機の周りの空気の流れを知ることができます。CFDソルバが本格的に導入される前は、高価な模型を作っては、実験用トンネルの中に設置して風を当てる風洞実験を繰り返していたんですよ」

そう語るのは、JAXA航空技術部門の橋本敦さん。「FaSTAR」と名づけられた世界最速のCFDソルバを開発したチームの主担当者です。「1990年代に入るとスーパーコンピューターの利用が進み、CFDソルバを使って、機体の表面や周囲の空気の流れ、機体に働く空気の力を予測するようになりました。その精度は風洞実験の代替手段として、現在は実用レベルに達しています。かつて何十個も作っていた風洞用模型は、現在では数個で済んでいます。今や、航空機の開発にはCFDソルバが不可欠で、キーテクノロジーの一つです」

JAXAは、前身の一つNALの時代からCFDソルバの開発を得意としており、90年代には世界最速のスーパーコンピューターNWT（Numerical Wind Tunnel:数値風洞）を有し、CFDの研究を先導してきました。「この技術的な蓄積の上に、新しいものを作ろう、となったのです。そのとき、次に狙う技術は何かと検討して、やはり高速性しかない、との結論に達しました。FaSTAR（FAST Aerodynamic Routines）という名前も、この高速性に由来します。開発は2008年から始まりました」

独自の計算手順とチューニングプログラム

CFDソルバは、複雑な方程式を近似的にたくさん解かなくてはならないので、答えが電卓のようにパッと出ません。計算の速いソフトやコンピューターを使っても、ケースによっては答えが出るのに1日がかりということもあります。「ソフトを設計する段階から高速化に特化した開発を行いました。ソフトの

【CFD ソルバ】
Computational Fluid Dynamics Solver
コンピューターを用いて流体力学の方程式（ナビエ・ストークス方程式）を解く（solve）ためのソフト。物体表面とその周囲の空間を分割した各格子の密度・速度・エネルギーなどの変数からなる、巨大な連立方程式を反復法で解いている。

開発では、一番初めのコンセプト設計が重要です」橋本さんたちは、FaSTARによる計算の高速性を求めて、難易度の高い二つの技術の組み合わせにチャレンジしました。「一つは、独自の方法を用いた計算手順（アルゴリズム）です。もう一つは、使用するスーパーコンピューターのパフォーマンスを最大限に引き出すプログラミング技術とチューニングです。この二つを高度に組み合わせることで、優れた高速性を実現しています」

橋本さんたちは、2015年に、FaSTARで計算すると、飛躍的に計算速度が上がることを論文で発表しました。開発を始めた当時は丸1日を要していた計算が1時間以内で収まり、世界最高レベルに躍り出ました。

2016年4月から稼動を始めたJAXAの最新スーパーコンピューター「JSS2」（計算性能:世界30位・国内3位）でFaSTARを実行すると、さらに計算速度が上がり、わずか1%の計算能力（1024コア）を使うだけでも、計算が2分で求まります。計算時間が2分になると、CFDの使い方が大きく変わります。例えば、航空機の形状を設計するときには、最適化という手法を用いますが、それには、大量に航空機の形状を変えて計算する必要があります。そのために、従来は、簡略化した方程式を用いたり、精度を落としたりして、計算コストを削減していました。しかし、FaSTARを使えば、そんなことをしなくても、実用的な時間で計算可能になります。むしろ、今まで以上に、計算ケース数が増やせるので、より自由度の高い形状変更が可能になります。

社会の中で多くの人に使ってほしい

このFaSTARの開発に当たっては、品質管理や操作性のよさも追求されました。橋本さんたち開発チームには、FaSTARを実用的なCFDソルバとして、JAXA以外の多くの人々にも使ってもらいたいという思いがあったからです。

FaSTARは、民間の企業に対しては、有償のライセンス契約を結んだ上で提供されます。現在、三菱重工業株式会社が採用。このほかにも、さまざまな企業から引き合いが来ています。また、現在、国内の大学22校と高等専門学校3校に対して、教育目的に限定して無償で提供しており、多くの学部や大学院の学生が操作しています。

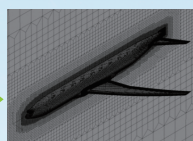
FaSTARの改良は今後も続きます。今の目標の一つは、失速時など、空気が機体に沿わずにはがれていく非定常現象（流れの状態が時間の経過とともに変わる現象）をシミュレーションできるようにすることです。非定常現象は、短時間で精度よく解析するのがとても難しく、世界中の開発者がこの難問に挑んでいます。橋本さんたちは、その一番乗りを狙います。「実現できれば、FaSTARはさらに画期的なソフトになります。例えば、航空機が飛行状態を維持できるかどうか、言い換えれば失速するかどうかの境界が分かるようになって、今は風洞実験でしか扱えない安全に関わるところも対象にできるようになるでしょう」

このFaSTARの性能がさらに高まれば、最適化のように今までのCFDソルバにはなかった使い方が可能になり、航空機設計の概念が大きく革新されていくだろうと、橋本さんは示唆してくれました。

CFD解析の手順

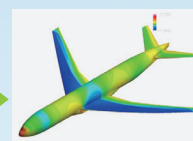
流体解析の高速化 **FaSTAR**

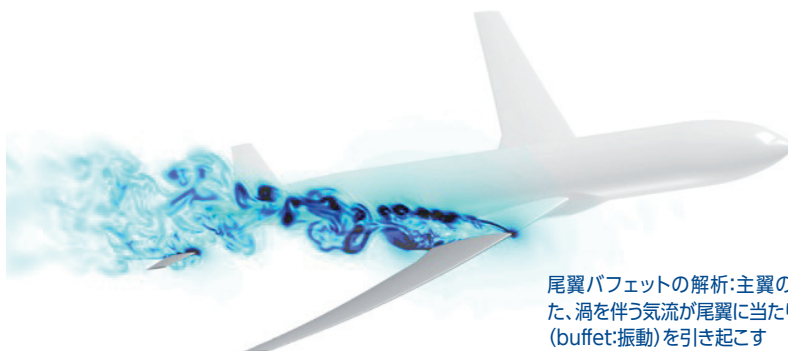
形状データ

形状をCADソフトで作成し、小さな三角形の面の集まりで表現する

格子生成

コンピューターで方程式を解くため、表面や空間を細かい升目（格子）に分割する

流体解析

各格子に対して、流体の方程式を解く

可視化、分析

表面の圧力（機体にかかる力）などの分布を可視化して分析する

尾翼バフェットの解析:主翼の失速で生じた、渦を伴う気流が尾翼に当たり、バフェット（buffet:振動）を引き起こす

ユーザーから

「大規模な非定常解析に有効です」

三菱重工業株式会社
総合研究所
流体研究部空力研究室
主席研究員
吉本 稔（よしもと みのる）

FaSTARの魅力は、その名が示す通り解析の高速性です。今、空力設計の現場では、空気の流れが時間の経過とともに変化していく状態を扱う、大規模な非定常解析のニーズが高まっています。これまで試行した範囲では、非常に有効なソフトだと評価しており、適用可能な研究や事業を見極めた上で活用していく予定です。今後希望する改良点としては、流れの中を物体が動く「物体運動」や空気の力で形状が変形する「構造変形」と組み合わせた解析、あるいは高速性を生かした最適化計算への活用といったところが挙げられますが、すでにこれらユーザーニーズを踏まえJAXAは取り組んでいると思います。更に、JAXAは各種の風洞や「飛翔」という実機も保有しているので、実機・風洞・解析の3手段を駆使して、従来では予測困難な現象の予測技術構築に繋がればと考えます。

JAXAトピックス

TOPIC 1 「きぼう」から放出する超小型衛星7機を公開

「きぼう」日本実験棟からの小型衛星放出ミッションに向けて、超小型衛星7機を2016年11月に、筑波宇宙センターで公開しました。国内企業・大学に加え、ブラジル国立宇宙研究所（INPE）の支援を受けたTancredo小学校による衛星も含まれ、国際的にも高い関心を呼んでいます。各国のさまざまな機関で拡大する衛星放出ニーズに応え、放出頻度を高めるため、JAXAでは従来の2倍の放出能力を持つ新たな小型衛星放出機構（J-SSOD）を開発し、同時に公開しました。今回の小型衛星7機は、「こうのとり」6号機（HTV6）によってすでにISSへ運ばれ、12月19日に静岡大学の「STARS-C」を放出したのに続き、残り6機も2017年1月中に順次放出する予定です。

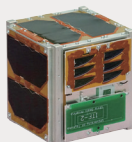
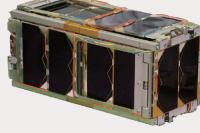
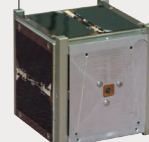
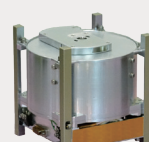
▸小型衛星放出機構（J-SSOD）
衛星の放出能力を従来より倍増

AOBA-VeloxⅢ：
九州工業大学／Nanyang Technological Univrsity（シンガポール）

TuPOD：
有人宇宙システム（株）（JAMSS）／GAUSS社（イタリア）／Tancredo小学校・INPE（ブラジル国立宇宙研究所）／OSN社（米国）

EGG：
東京大学

ITF-2：
筑波大学

STARS-C：
静岡大学

FREEDOM：
（株）中島田鉄工所／東北大学

WASEDA-SAT3：
早稲田大学

TOPIC 2 ジオスペース探査衛星（ERG）の愛称は「あらせ」

ジオスペース探査衛星（ERG）を載せたイプシロンロケット2号機の打ち上げ

2016年12月20日に、イプシロンロケット2号機で打ち上げたジオスペース探査衛星（ERG）は、太陽電池パドルを正常に展開し、同日「あらせ」と命名されました。この愛称は、

1. 宇宙の荒瀬（水が激しく波立って流れる川）と言える放射線帯（ヴァン・アレン帯）に漕ぎ出していくことから。
2. 打ち上げ場所の内之浦宇宙空間観測所が位置する鹿児島県肝属郡肝付町を流れる「荒瀬川」に因んで。

に由来するものです。

「あらせ」は今後、約2カ月に及ぶ初期運用を経て、観測を開始する予定です。（今号16-17ページ参照）

TOPIC 3 オリガミ・イーティーエス合同会社が「J-TECH STARTUP」認定企業となる

JAXAベンチャー第1号のオリガミ・イーティーエス合同会社（以下、OE）が、「J-TECH STARTUP」認定企業の1社となり、2016年12月7日開催の「J-TECH STARTUP SUMMIT 2016」で認定証を授与されました。本サミットは、一般社団法人TXアントレプレナーパートナーズ（TEP）と技術者向け情報サイト「日経テクノロジーオンライン」が主催し、高度なコア技術を持つ日本の技術系ベンチャー企業を世界に送り出すことを目的としたシンポジウムです。

OEは、JAXAが開発した大型展開アンテナ構造解析ソフトウェア「Origami/ETS」の使用ライセンスのリースなどを行います。「Origami/ETS」は、すでに宇宙機開発で実証され、今後、建築物の地震応答解析や生体工学などへの応用を目指します。

認定証を手に笑顔を見せる、OE社員の小林 高士（こばやし たかし、中央）と小澤 悟（おざわ さとる、右）

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650　FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/